Enseignement scientifique chapitre 13
Le son, une information à coder – Séance 1

Activité n^{o} 1 p. 216 – Du son analogique au son numérique

- Avant d'aborder cette activité, visionnez la vidéo « Du signal analogique au signal numérique » : `https://www.youtube.com/watch?v=bkDBFKwSEUo`
- Faites vous-même l'expérience proposée avec Audacity : `https://www.youtube.com/watch?v=u2gUVx7N6Ds`
- Téléchargez le son de piano que j'utilise dans la présentation : `http://www.chaurand.fr/site/download/la3-grand-piano.wav.zip`

- Retrouvez la présentation de cette séance sur ma chaîne YouTube : https://www.youtube.com/channel/UC-saY8Ra5Pa-21lPyr7Dndw?view_as=subscriber

Réponses aux questions de l'activité

1. Dans la chaîne de transmission de l'information montrée au document 1, l'information est sous forme analogique, de l'instrument de musique jusqu'à la carte son. Le signal est ensuite numérique, de la carte son à l'ordinateur.

En effet, le signal analogique varie de façon continue au cours du temps, tel que montré sur les courbes représentant la forme du signal. Alors que le signal numérique évolue par paliers.

2. La carte son effectue la conversion du signal analogique en signal numérique. Remarquez bien qu'elle peut aussi faire l'inverse, convertir un signal numérique en signal analogique, dans le but d'écouter un enregistrement précédemment mémorisé.

3. Au document 3, lorsque la fréquence d'échantillonnage augmente, les points de relevé arrivent mieux à suivre la variation du signal : le signal échantillonné est de plus en plus proche du signal réel.

4. Au document 4, lorsque la quantification augmente, les points de mesure arrivent mieux à reproduire les variations du signal. À nouveau, le signal échantillonné est de plus en plus proche du signal réel.

5. La fréquence d'échantillonnage et la quantification doivent être adaptées au signal :

— il faut une fréquence d'échantillonnage plus grande, voire même bien plus grande que la fréquence du signal, afin d'assurer un découpage du temps (axe horizontal, en abscisse) suffisamment précis pour reproduire toutes les variations du son ;

— et il faut une quantification qui permette de découper suffisamment finement les variations d'amplitude du signal (axe vertical, en ordonnée).

Plus ces deux paramètres seront élevés, plus le signal numérisé sera fidèle au signal analogique d'origine.

2 De l'analogique au numérique (cours)

Compétences

- Comprendre comment est numérisé un son, et quels paramètres influent sur la fidélité de reproduction.

- Pour **numériser** un son, on procède à un découpage temporel du signal : c'est l' échantillonnage.
- Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus les mesures sont rapprochées dans le temps, et plus la numérisation du son sera fidèle.
- On procède aussi à une mesure de l'amplitude du signal, à différents paliers préétablis : c'est la quantification.
- Plus le nombre de valeurs de quantification est élevé, plus les mesures d'amplitude sont resserrées, et plus la numérisation du son sera fidèle.

Correction des exercices donnés en séance 12-2

N^o 2 p. 209 – Ton et demi-ton

1. Les notes qui ne sont séparées que d'un apotome sont celles qui sont séparées par un intervalle 2187/2048. Ce sont donc :

- Do et Do♯ ;
- Mi♭ et Mi ;
- Fa et Fa♯ ;
- Sol et Sol♯ ;
- Si♭ et Si.

L'apotome est l'intervalle qui sépare une note de la même note « altérée » par un dièse (symbole ♯) ou par un « bémol » (symbole ♭).

L'intervalle séparant deux notes différentes est un limma, intervalle qui vaut 256/243 :

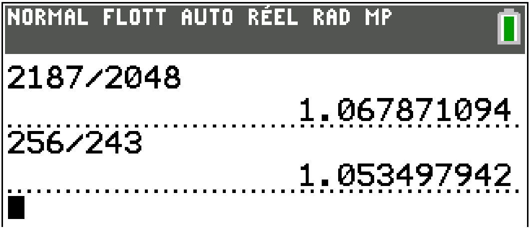
- Do♯ et Ré ;
- Ré et Mi♭ ;
- Mi et Fa ;
- Fa♯ et Sol ;
- Sol♯ et La ;
- La et Si♭ ;

— Si et Do.

Le limma est l'intervalle qui sépare deux notes différentes, éventuellement altérées.

Il est intéressant de calculer numériquement la valeur d'un apotome et d'un limma :

$$\frac{2187}{2048} \simeq 1{,}0679 \quad \text{et} \quad \frac{256}{243} \simeq 1{,}0535$$



Ces deux valeurs sont légèrement différentes.

Le fait qu'un limma soit différent d'un apotome fait que les douze notes de la gamme ne sont pas séparées par un intervalle constant. Une telle différence d'intervalle est peu audible à l'oreille, et a comme avantage d'avoir onze quintes justes (et hélas une douzième quinte fausse, la fameuse *quinte du loup*).

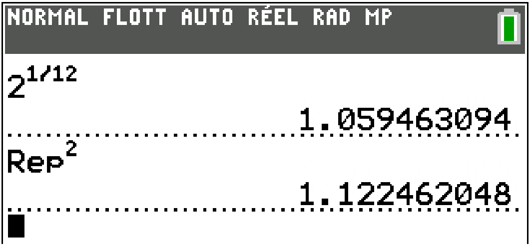
2. Dans la gamme tempérée, comme vu dans le cours de la séance 12.2, chaque demi-ton correspond à un intervalle égal à la racine douzième de deux :

$$\sqrt[12]{2} = 2^{\frac{1}{12}} \simeq 1{,}0595$$

On constate que cette valeur est intercalée entre le limma et l'apotome. C'est un compromis entre les deux, d'où le nom « tempéré » donné à cette gamme : ni trop chaud, ni trop froid !

Et chaque ton correspond à deux demi-tons, donc un intervalle égal à la racine douzième au carré. C'est-à-dire que l'on multiplie deux fois par l'intervalle d'un demi-ton pour obtenir l'intervalle d'un ton :

$$\overbrace{\sqrt[12]{2} \times \sqrt[12]{2}}^{2 \text{ fois}} = 2^{\frac{1}{12}} \times 2^{\frac{1}{12}} = 2^{\frac{2}{12}} = 2^{\frac{1}{6}} \simeq 1{,}1225$$



N° 3 p. 209 – La quinte

1. La quinte d'une note à 100 Hz a, par définition de la quinte, une fréquence multipliée par l'intervalle de 3/2 :

$$100 \times \frac{3}{2} = 150 \text{ Hz}$$

2. L'octave d'une note à 100 Hz a, par définition de l'octave, une fréquence multipliée par 2 :

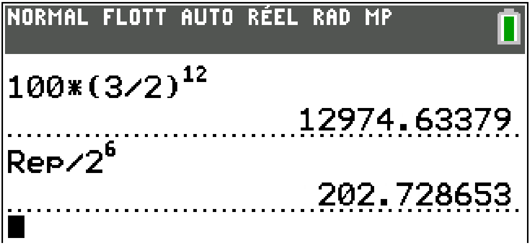
$$100 \times 2 = 200 \text{ Hz}$$

3. Si l'on prend douze fois la quinte de 100 Hz, on multiplie douze fois par 3/2 :

$$100 \times \overbrace{\frac{3}{2} \times \frac{3}{2} \times \ldots \times \frac{3}{2}}^{12 \text{ fois}} = 100 \times \left(\frac{3}{2}\right)^{12} \simeq 12\,975 \text{ Hz}$$

On remarque que l'on ne se trouve plus dans l'octave, entre 100 Hz et 200 Hz : il faut réduire la note à l'octave, sans changer de note, c'est-à-dire en divisant par deux suffisamment de fois pour se retrouver entre 100 et 200 Hz. Si vous vous souvenez de l'activité vue en séance 12.2, vous savez qu'il faut diviser six fois par deux :

$$\frac{12975}{\underbrace{2 \times 2 \times ... \times 2}_{6 \text{ fois}}} = 203 \text{ Hz}$$



On remarque alors que l'on ne retombe pas exactement sur l'octave à 200 Hz : en multipliant par 3/2 et en divisant par 2 autant de fois que nécessaire, on ne peut pas reproduire le facteur 2 exact nécessaire pour obtenir une octave qui sonne juste. Il s'agit du fameux problème de la douzième quinte qui sonne faux, ou *quinte du loup*.

N° 5 p. 210 – La gamme de Zarlino

1. Comme indiqué dans le texte, l'intervalle entre deux notes à la tierce est 5/4 :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{5}{4}$$

L'intervalle entre deux notes à la quinte est 3/2 :

$$\frac{f_3}{f_1} = \frac{3}{2}$$

Donc l'intervalle entre la note 2 à la tierce et la note 3 à la quinte est :

$$\frac{\dfrac{f_2}{f_1}}{\dfrac{f_3}{f_1}} = \frac{\dfrac{5}{4}}{\dfrac{3}{2}}$$

On simplifie à gauche par f_1 et à droite, on effectue le produit des extrêmes et de moyens, et l'on simplifie la fraction :

$$\frac{f_2}{f_3} = \frac{5 \times 2}{4 \times 3} = \frac{5}{6}$$

2. Construisons les notes du premier accord parfait majeur Do-Mi-Sol, en multipliant par 5/4 et 3/2. On note f_{Z} la fréquence obtenue dans la gamme de Zarlino :

$$\begin{cases} f_Z(\text{Mi}) = 100 \times \dfrac{5}{4} = 125 \text{ Hz} \\ f_Z(\text{Sol}) = 100 \times \dfrac{3}{2} = 150 \text{ Hz} \end{cases}$$

Le deuxième accord majeur Sol-Si-Ré part de 150 Hz et se construit de la même manière, tierce d'abord, puis quinte :

$$\begin{cases} f_Z(\text{Si}) = 150 \times \dfrac{5}{4} = 187{,}5 \text{ Hz} \\ f_Z(\text{Ré}) = 150 \times \dfrac{3}{2} = 225 \text{ Hz} \end{cases}$$

On constate que le Ré n'est plus dans l'octave, en divisant sa fréquence par deux on obtient la fréquence du Ré une octave plus bas :

$$f_Z(\text{Ré}) = \frac{225}{2} = 112{,}5 \text{ Hz}$$

Il ne reste plus que l'accord majeur renversé Fa-La-Do. Le Fa est la note dont la quinte est le Do à l'octave, donc :

$$f_Z(\text{Fa}) = \frac{200}{\frac{3}{2}} = 133{,}3 \text{ Hz}$$

et le La est la tierce du Fa :

$$f_{\mathrm{Z}}(\mathrm{La}) = 133{,}3 \times \frac{5}{4} = 166{,}7 \text{ Hz}$$

3. Les fréquences des notes dans la gamme de Zarlino, sans être exactement les mêmes que dans la gamme de Pythagore, restent proches.

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si
f_{P} (Hz)	100	113	127	135	150	169	190
f_{Z} (Hz)	100	113	125	133	150	168	188

Pour comparer les notes des deux gammes, il faut calculer les intervalles entre chaque note. On obtient des fractions, le *comma*, un intervalle très petit, généralement entre le dixième et le cinquième du ton.

Exercices n° 4 et 6 p. 210 et 211 (on continue avec des exercices du chapitre 11 pour l'instant).